DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang. 28. Juli 1922. Heft 30.

Über den Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation[1].

Von Otto Warburg und Erwin Negelein, Berlin-Dahlem.

I.

Die in grünen Pflanzenzellen absorbierte Strahlungsenergie wird im allgemeinen auf dreierlei Art verwandelt: in Strahlung anderer Frequenz, im sichtbaren Gebiet als Fluoreszenzstrahlung erscheinend, in Wärme und in chemische Energie.

Die Verwandlung in chemische Energie geschieht in dem Vorgang der Kohlensäureassimilation, in dem Traubenzucker und Sauerstoff aus Kohlensäure und Wasser entstehen nach der Gleichung:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 - 674\,000\ \text{cal.}$$

worin 674 000 cal. die Zunahme der Gesamtenergie bedeutet, wenn sich der Vorgang von links nach rechts abspielt.

Wir haben uns die Frage gestellt, welcher Bruchteil der absorbierten Strahlungsenergie bei der Kohlensäureassimilation in chemische Energie verwandelt werden kann, eine oft diskutierte, bisher jedoch, wie uns schien, nicht beantwortete Frage.

Bezeichnen wir die absorbierte Strahlungsenergie mit E, die gleichzeitig geleistete chemische Arbeit — die Zunahme der Gesamtenergie — mit U, so ist es der Quotient U/E, der uns interessiert, und zwar U/E unter einer besonderen Bedingung.

Tragen wir die pro Sekunde absorbierte Strahlungsenergie auf der Abszisse, die pro Sekunde geleistete chemische Arbeit auf der Ordinate auf, so erhalten wir (Fig. 1) eine nach der Abszissenachse zu gekrümmte Kurve. Das Verhältnis U/E ändert sich also mit der Intensität der absorbierten Strahlung. Je intensiver die Strahlung, um so geringer ist der in chemische Energie verwandelte Bruchteil. U/E, das mit wachsender Intensität unbegrenzt kleiner wird, nähert sich mit sinkender Intensität einem Grenzwert. Dieser Grenzwert ist es, dessen Bestimmung wir uns zum Ziel gesetzt haben, der Energieumsatz bei sehr kleinen Intensitäten, genauer ausgedrückt $lim\ \frac{dU}{dE}$ für $E = 0$.

Verschieden von unserer Frage ist die praktisch wichtige Frage, wieviel nutzbare chemische Energie in der Natur aus dem absorbierten Tageslicht gewonnen wird, ein Problem, das nicht durch Laboratoriumsversuche gelöst werden kann und das in jeder Hinsicht anders angefaßt werden muß als das unsrige.

Die Versuche wurden in dem Laboratorium von Herrn *Emil Warburg* in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt begonnen, wo wir, insbesondere unterstützt von Herrn *Carl Müller*, die Methode der Strahlungsmessung gelernt haben.

Wir haben als Versuchsobjekt eine einzellige Grünalge, Chlorella vulgaris, benutzt. Wir haben die Größe E unseres Quotienten, die absorbierte Strahlung, mittels eines Flächenbolometers gemessen, die Größe U, die geleistete chemische Arbeit, mittels eines Manometers, an dem die bei Bestrahlung entwickelten Sauerstoffmengen abgelesen werden konnten.

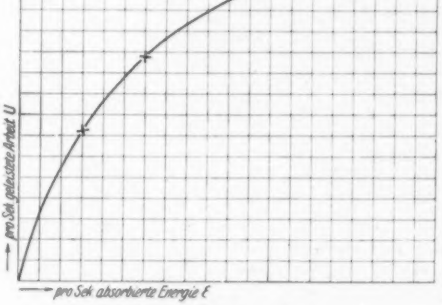

Fig. 1.

II.

Sitz des Assimilationsvorgangs in der Pflanzenzelle sind besondere Organe, die Chromatophoren, in denen die assimilatorisch wirksame Strahlung absorbiert wird und in denen die Endprodukte der Assimilation, Zucker und Sauerstoff, erscheinen. Dieses Organ, das in verschiedenartigen Formen auftritt, hat in unserer Alge die Form einer Glocke, die der Wand der runden, im Durchmesser etwa 3 μ starken Zelle anliegt. Es enthält dasselbe Farbstoffgemisch, das *Willstaetter*[1] in allen grünen Zellen antraf, das grüne Chlorophyll, das gelbe Caroten und das gelbe Xanthophyll. Die gelben Farbstoffe absorbieren merk-

[1] Nach einem in Dahlem am 22. 5. gehaltenen Vortrag. Die ausführliche Arbeit erscheint in der Zeitschrift für physikalische Chemie.

[1] *Willstaetter* u. *Stoll*, Untersuchungen über Chlorophyll, Berlin 1913.

lich nur im Blau, das Chlorophyll in dem gesamten Bereich des sichtbaren Spektralgebietes, am stärksten im Blau und im Rot, wo zwischen 645 und 670 μμ die bekannte scharfe Chlorophyllbande liegt. Die Absorption in dem unsichtbaren Spektralgebiet ist für uns ohne Interesse, da bisher, mittels einwandfreier Methoden, nur im sichtbaren Gebiet assimilatorische Wirkung beobachtet wurde.

Nach einer bekannten Entdeckung von *Willstaetter* enthält das Chlorophyll Magnesium. Wird das Magnesium abgespalten, so bleibt ein wenig gefärbter Rest zurück, das Willstaettersche Phäophytin, das sich mit Metallsalzen wieder leicht zu tiefgefärbten Stoffen vereinigt. In dieser farbvertiefenden Wirkung sehen wir die Bedeutung des Magnesiums für den Assimilationsvorgang. Indem das Magnesium in den organischen Rest eintritt, wird das Absorptionsspektrum breiter und tiefer, es vermehren sich die Anregungsmöglichkeiten.

III.

Die Verwandlung von strahlender in chemische Energie in dem Chromatophor ist ein streng spezifischer Vorgang, das heißt, absorbierte Strahlungsenergie kann allein zur Reduktion der Kohlensäure, nicht aber zur Reduktion anderer Stoffe verwendet werden.

Die Behauptung, daß allein Kohlensäure photochemisch reduziert werde, scheint zunächst im Widerspruch zu dem zu stehen, was wir beim Wachstum der Zelle beobachten. Die Zelle wächst, wenn wir sie in einer kohlensäurehaltigen Lösung anorganischer Salze bestrahlen. Die Substanz, die hierbei entsteht, enthält Wasserstoff, der aus dem Wasser der Nährlösung stammt, zum Beispiel in den CH_2-Gruppen der Fettsäuren, und Stickstoff, der aus dem Nitrat der Nährlösung stammt, zum Beispiel in den Amidogruppen des Eiweißmoleküls. Es muß also neben Kohlensäure auch Wasser und Nitrat reduziert werden, und in der Tat findet man, wenn man unter Ausschluß von Kohlensäure bestrahlt, eine langsame Entwicklung von Sauerstoff aus Wasser und Nitrat.

Indessen läßt sich zeigen[1]), daß sich Vorgänge dieser Art unter Vermittlung der Kohlensäure abspielen. Betrachten wir beispielsweise die Bildung von Amidostickstoff, so haben wir zunächst die Dunkelreaktion

$$HNO_3 + H_2O + 2\,C = NH_3 + 2\,CO_2$$

(C für $^1/_6$ Molekül Traubenzucker)

und darauf folgend die photochemische Reaktion

$$2\,CO_2 = 2\,C + 2\,O_2$$

Addieren wir beide Gleichungen, so fällt die Kohlensäure aus der Bilanz heraus, wir erhalten

$$HNO_3 + H_2O = NH_3 + 2\,O_2$$

und wir haben scheinbar eine photochemische Reduktion von Wasser und Salpetersäure.

Derartige Vorgänge bewirken — und darauf kommt es hier an —, daß eine bestrahlte Zelle an die Umgebung mehr Sauerstoff abgibt, als sie Kohlensäure aus der Umgebung aufnimmt. Die Verhältnisse liegen in unserem Fall so, daß die Alge 10 Moleküle Sauerstoff abgibt, während sie gleichzeitig nur 9 Moleküle Kohlensäure aufnimmt. Von diesen 10 Molekülen Sauerstoff stammen also 9 aus *von außen* aufgenommener Kohlensäure, 1 Molekül aus *intrazellulär* gebildeter Kohlensäure.

Es ist notwendig, daß in bezug auf diese Verhältnisse Klarheit herrscht. Denn wir haben die chemische Arbeit aus der entwickelten Sauerstoffmenge berechnet unter der Annahme, daß ebensoviele Moleküle Kohlensäure gespalten, als Sauerstoffmoleküle entwickelt worden waren.

IV.

Neben der Verwandlung von strahlender in chemische Energie haben wir in der Zelle eine zweite Art von Energieverwandlung, die Verwandlung von chemischer Energie in Wärme, auf dem Umweg über noch nicht näher bekannte Energieformen. Während sich die Verwandlung erster Art in einem gesonderten Organ der Zelle bei Bestrahlung abspielt, findet die Verwandlung zweiter Art, *die Atmung*, in allen Teilen der Zelle und zu jeder Zeit statt.

Die Bedeutung der Kohlensäureassimilation für die organische Welt ist einfach und klar. Der Sinn der Atmung ist komplizierter und dunkler. Es mag hier die Bemerkung genügen, daß die lebende Zelle ein instabiles, mit merklicher Geschwindigkeit einem Gleichgewichtszustand zustrebendes System ist, das nur unter Aufwand von Arbeit erhalten werden kann. Das energetische Äquivalent dieser Arbeit ist die in der Atmung verbrauchte chemische Energie.

Die Gleichung der Atmung in unserem Fall lautet:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 674\,000\ \text{cal.}$$

ein in der Bilanz der Kohlensäureassimilation genau entgegengesetzter Vorgang. Da es in keiner Weise gelingt, beide Vorgänge so zu trennen, daß nur die Assimilation übrigbleibt, so haben wir es bei unseren Versuchen immer mit beiden Vorgängen zu tun, eine Messung der Assimilation setzt die Kenntnis der Atmung voraus. Es ergibt sich so die Anordnung eines Assimilationsversuchs. Wir messen zunächst die Atmung getrennt von der Assimilation, das heißt den Sauerstoffverbrauch im Dunkeln, und darauf den Sauerstoffwechsel bei Bestrahlung. Aus der Kombination beider Messungen, die auf gleiche Zeiten bezogen werden, finden wir die durch Bestrahlung entwickelte Sauerstoffmenge.

Bei diesem Verfahren wird vorausgesetzt, daß die Atmung *während* der Bestrahlung ebenso

[1]) *O. Warburg* u. *E. Negelein*, Bioch. Zeitschrift *110*, 66 (1920).

groß ist, wie *vor* der Bestrahlung im Dunkeln, eine Voraussetzung, die aus folgendem Grund nicht korrekt ist. Bringen wir in die anorganische Lösung, in der unsere Algen suspendiert sind, Traubenzucker, so dringt er in die Zelle ein und bewirkt hier, indem er die Konzentration an verbrennlicher Substanz vermehrt, einen Anstieg der Atmung. Bestrahlen wir, so bildet sich in dem Chromatophor Zucker, der alsbald in die Zelle hineindiffundiert und hier, wie der von außen eingeführte Zucker, die Atmung beschleunigt. Man kann diese Wirkung der Bestrahlung auf die Atmung leicht nachweisen, indem man einige Zeit im Dunkeln gehaltene Zellen bestrahlt und dann wieder verdunkelt. Man findet dann, daß die Atmung nach der Bestrahlung größer ist, als sie vorher im Dunkeln war, und daß sie im Dunkeln allmählich wieder absinkt. Die Atmung wird also *während* der Bestrahlung größer sein als *nach* der Bestrahlung, der Zeit, in der wir sie messen. Indem wir aber für die Belichtungszeit eine zu kleine Atmung einsetzen, finden wir die geleistete chemische Arbeit kleiner als sie tatsächlich ist.

Man kann diesen Fehler nicht ganz beseitigen, aber dadurch wesentlich verkleinern, daß man Bestrahlungs- und Verdunkelungsperioden fortgesetzt in kurzen Abständen folgen läßt. Man schafft so einigermaßen stationäre Verhältnisse in der Zelle, die Zuckerkonzentrationen schwanken weniger als im Laufe langer Perioden.

V.

Als Strahlungsquelle benutzten wir eine Metallfadenlampe mit Stickstoffüllung. Aus der Strahlung dieser Lampe nahmen wir mittels Ferro- und Kupfersulfat Rot und Ultrarot, mit Hilfe von Anilinfarbstoffen Blau und Grün heraus und verwandten im allgemeinen nur den von 570 bis 645 $\mu\mu$ reichenden Spektralbezirk, das ist Gelb und Gelbrot. Nach dem, was wir über die Absorption in dem Chromatophor erfahren haben, ist dies ein Bezirk, in dem von den drei Farbstoffen allein das Chlorophyll absorbiert, und zwar liegen die dunkeln Absorptionsbanden des Chlorophylls *außerhalb* unseres Spektralbezirks.

Die Strahlung, die mittels eines Regulierwiderstandes auf 1 % konstant gehalten wurde, trat in horizontaler Richtung in einen Wasserthermostaten ein und traf hier auf einen um 45° gegen die Horizontale geneigten Spiegel, der sie senkrecht nach oben reflektierte. (Fig. 2.) In einer genau festgelegten Horizontalebene des Thermostaten befand sich die Blende des Bolometers, durch das die Intensität der Strahlung in der genannten Ebene gemessen wurde. Hierbei bedienten wir uns einer von *Emil Warburg*[1]) angegebenen Schaltung, bei der die in der Brücke auftretende Potentialdifferenz mittels eines zweiten Stromkreises kompensiert wurde, das Galvanometer also nur als Nullinstrument gebraucht wurde. Wir eichten das Bolometer mit der Hefnerlampe nach *Gerlach*[1]) und erhielten die gesuchte Intensität in cal./Sek./qcm mit einer Genauigkeit von etwa 1 %.

War die Intensität gemessen, so ersetzten wir das Bolometer durch den Assimilationstrog, ein Glasgefäß, dessen Seitenwände versilbert und zum Schutz des Silberspiegels verkupfert waren. Der Trog war zu ¾ mit einer Suspension grüner Zellen gefüllt. Sein nicht versilberter Boden kam genau an die Stelle des Thermostaten, an der sich vorher die Bolometerblende befunden hatte. Bei bekannter Grundfläche F des Troges und einer Bestrahlungszeit von t Sekunden war somit die in den Trog eingestrahlte Energie $I\,F\,t$ cal.

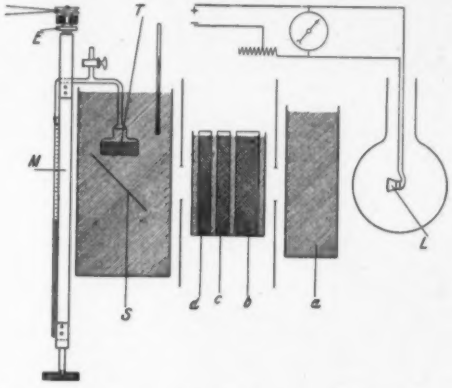

Fig. 2. L Lampe. a Küvette mit fließendem Wasser. b Küvette mit 20 % Ferrosulfat, Schichtdicke 2 cm. c Küvette mit 12 % Kupfersulfat, Schichtdicke 1 cm. d Küvette mit 0,02 % Tartrazin, 0,02 % Rose bengale, Schichtdicke 1 cm. S Spiegel. T Assimilationstrog. M Manometer. E Exzenterscheibe.

Da jede Zelle Licht nicht nur absorbiert, sondern auch bricht, reflektiert und zerstreut, so wird der Strahlengang in der Zellsuspension ungeordnet, und das diffus austretende Licht kann nicht gemessen werden. Die Schwierigkeit, die sich so der Absorptionsmessung entgegenstellte, haben wir umgangen, indem wir mit *vollständiger Absorption* arbeiteten, das heißt, wir füllten eine so dichte Zellsuspension in den Trog ein, daß die gesamte eingestrahlte Energie absorbiert wurde. Der Beweis vollständiger Absorption wurde auf zwei Arten erbracht. Erstens hatte eine Vermehrung der Zelldichte keine Vermehrung der photochemischen Wirkung zur Folge, unsere Ausschläge waren unabhängig von der Zelldichte. Zweitens zogen wir den Farbstoff mit Alkohol aus und brachten die klare alkoholische Lösung — in der fraglichen Konzentration und Schichtdicke — zwischen Bolometer und Lampe. Das Bolometer

[1]) *E. Warburg, G. Leithäuser, E. Hupka, C. Müller*, Ann. der Physik, 4. Folge, Bd. *40*, 609 (1913).

[1]) *Gerlach*, Phys. Zeitschr. *14*, 577 (1903).

zeigte dann keinen Ausschlag, zum Zeichen, daß die Absorption praktisch vollständig war. Wir fanden also die *absorbierte* Energie, indem wir sie gleich der *eingestrahlten* setzten.

Bei diesem Verfahren vernachlässigten wir die Lichtmengen, die infolge von Reflexion und Zerstreuung durch den Boden des Troges wieder austraten. Wir haben Grund zu der Annahme, daß diese Mengen relativ klein waren, daß wir also ohne merklichen Fehler eingestrahlte und absorbierte Energie gleichsetzen durften. Traf diese Annahme nicht zu, so haben wir für die absorbierte Energie einen zu großen Wert eingesetzt, das Verhältnis U/E also kleiner gefunden, als es tatsächlich war.

Wird die Strahlung vollständig absorbiert, so sinkt auf dem Weg durch den Trog ihre Intensität von I, der Intensität an der Eintrittsstelle, bis auf einen unmerklich kleinen Wert herab, und wir messen die Assimilation bei Intensitäten, die zwischen I und Null liegen. Denken wir uns den Inhalt des Troges durch horizontale Schnitte in kleine Scheiben von der Höhe dx zerlegt, so nimmt die pro Scheibe absorbierte Lichtmenge — mithin auch die photochemische Wirkung — von unten nach oben ab, während die Atmung in den Scheiben verschiedener Höhe nahezu gleich ist. Wir haben also in dem Trog ein veränderliches Verhältnis von Assimilation zu Atmung, in den untersten Schichten überwiegt die Assimilation, in den obersten die Atmung. Die Assimilation in dem *ganzen* Trog ist gleich der Summe der Assimilation in den einzelnen Scheiben, und das entsprechende gilt von der Atmung in dem *ganzen* Trog.

Was wir messen, sind diese Summen, und es ist aus methodischen Gründen wünschenswert, daß das Verhältnis der Summen, Assimilation im *ganzen* Trog : Atmung im *ganzen* Trog, nicht zu klein ist. Die Intensität der Strahlung an der Eintrittsstelle muß deshalb, wie eine einfache Rechnung lehrt, relativ hoch sein. Andererseits interessiert uns, wenn wir uns an unsere Aufgabe erinnern, allein die Assimilation bei niedrigen Intensitäten. Auf Grund dieser Überlegungen wird man einen Mittelweg einschlagen und die Intensität an der Eintrittsstelle so wählen, daß die Assimilation neben der Atmung noch mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden kann.

Dieser Bedingung genügten Intensitäten von $0{,}2 \times 10^{-4}$ bis $0{,}4 \times 10^{-4}$ cal/Sek/qcm, das ist etwa der 1000ste Teil der Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche. Bestrahlten wir mit diesen Intensitäten, so betrug die Assimilation in den untersten Schichten des Troges das 5- bis 10fache der Atmung, die Assimilation in dem *ganzen* Trog ½ bis $^1/_1$ der Atmung in dem *ganzen* Trog. Hierbei waren die Intensitäten hinreichend klein, und wir konnten, wenn wir zwei Messungen bei zwei verschiedenen Intensitäten machten, die Werte für die Intensität Null durch Interpolation finden.

Soviel über die Strahlung, ihre Messung, ihre Absorption und ihre Intensität.

VI.

Zur Messung der chemischen Arbeit, der Größe U unseres Quotienten, wurde der Assimilationstrog, nach Füllung mit kohlensäurehaltiger Luft, mit dem einen Schenkel eines Barcroftschen Differentialmanometers[1]) verbunden. (Fig. 3.) An dem anderen Manometerschenkel befand sich ein ähnlicher Trog, der an Stelle der Zellsuspension zellfreie Salzlösung enthielt. Bei dieser Anordnung zeigte das Manometer nur solche Druckänderungen an, die von der Tätigkeit der Zellen herrührten, während Schwankungen der Temperatur und des Atmosphärendrucks ohne Einfluß auf den Stand des Manometers waren.

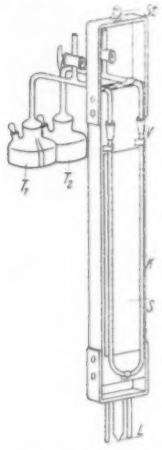

Fig. 3. K Manometerkapillare. V Verbindungsschliff. T_1 Trog, mit Zellsuspension und kohlensäurehaltiger Luft gefüllt. T_2 Trog, mit Salzlösung und kohlensäurehaltiger Luft gefüllt. St Stift, der in das Loch der Exzenterscheibe paßt. L Spitzenlager. S Spiegel.

Die mit dem Manometer verbundenen Tröge wurden mittels einer Exzenterscheibe — bei kleinen Exkursionen, jedoch hohen Tourenzahlen — schnell geschüttelt, so daß Gas- und Flüssigkeitsphase in jedem Augenblick nahezu im Gleichgewicht waren. Die Temperatur des Thermostaten war hierbei 10° und wurde auf einige $^1/_{100}$ Grade konstant gehalten.

Wird in dem Trog Sauerstoff in Kohlensäure verwandelt, so nimmt der Druck ab, weil Kohlensäure in Wasser leichter löslich ist als Sauerstoff. Wird Kohlensäure in Sauerstoff verwandelt, so nimmt aus dem gleichen Grund der Druck zu. Kennt man die Volumina der gasförmigen und flüssigen Phase, so ergibt die Anwendung der Gasgesetze und des Henrischen Absorptionsgesetzes einen einfachen Ausdruck für die um-

[1]) *Barcroft*, Journ. of Physiol. 37, 12 (1908).

gesetzte Sauerstoffmenge, die einer Druckänderung von einem Millimeter entspricht.

Da die Entwicklung eines Mols Sauerstoff einer chemischen Arbeit von 112 300 cal. entspricht, so war, wenn v ccm Sauerstoff entwickelt waren:

$$U = v \cdot \frac{112\,300}{22\,400} \text{ cal.}$$

Was die Genauigkeit der Messungen anbetrifft, so hing alles davon ab, ob es gelang, die Atmung hinreichend stationär zu halten. War das der Fall, so wurde die Atmung in Perioden von 5 Minuten, die photochemische Wirkung in Perioden von 10 Minuten bestimmt und v mit einer Genauigkeit von 5 % erhalten. Dies also war der Fehler bei der Messung der Größe U, der als solcher in den Quotienten U/E einging. Der Fehler bei der Messung der Größe E — mit 1 % — war hiergegen klein.

VII.

Einige Resultate sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle.

Spektralbezirk $\lambda = 570 - 645$ μμ · Bestrahlte Fläche (F) = 14 qcm · Bestrahlungszeit (t) = 600 Sek.

Nr.	I Auffallende Intensität (cal/qcm/Sek)	$E = I\,F\,t$ in t Sek absorbierte Energie (cal)	v in t Sek entwickelt. Sauerstoff (ccm)	U (cal)	$\frac{U}{E} \cdot 100$	$lim\ \frac{dU}{dE}$ $E = 0$
1	$0{,}162 \cdot 10^{-4}$	0,136	15,4	0,078	57	72
	$0{,}327 \cdot 10^{-4}$	0,275	23,0	0,116	42	
2	$0{,}203 \cdot 10^{-4}$	0,171	19,0	0,096	56	67
	$0{,}406 \cdot 10^{-4}$	0,341	30,8	0,155	45	
3	$0{,}212 \cdot 10^{-4}$	0,178	21,0	0,106	60	73
	$0{,}424 \cdot 10^{-4}$	0,356	32,4	0,163	46	
4	$0{,}215 \cdot 10^{-4}$	0,181	19,7	0,099	55	69
	$0{,}430 \cdot 10^{-4}$	0,362	29,2	0,147	41	
5	$0{,}215 \cdot 10^{-4}$	0,181	20,3	0,102	56	66
	$0{,}430 \cdot 10^{-4}$	0,362	34,1	0,172	48	
6	$0{,}197 \cdot 10^{-4}$	0,166	19,6	0,099	60	64
	$0{,}389 \cdot 10^{-4}$	0,327	36,2	0,183	56	
7	$0{,}202 \cdot 10^{-4}$	0,169	24,0	0,121	72	92
	$0{,}397 \cdot 10^{-4}$	0,334	34,3	0,173	52	
8	$0{,}182 \cdot 10^{-4}$	0,153	18,2	0,092	60	72
	$0{,}358 \cdot 10^{-4}$	0,301	28,5	0,144	48	
9	$0{,}178 \cdot 10^{-4}$	0,149	17,0	0,086	58	60
	$0{,}350 \cdot 10^{-4}$	0,295	32,2	0,162	55	
10	$0{,}178 \cdot 10^{-4}$	0,149	19,4	0,098	66	68
	$0{,}350 \cdot 10^{-4}$	0,295	36,9	0,186	63	
11	$0{,}173 \cdot 10^{-4}$	0,145	20,5	0,103	71	83
	$0{,}343 \cdot 10^{-4}$	0,288	34,3	0,173	60	
12	$0{,}175 \cdot 10^{-4}$	0,147	16,8	0,085	58	65
	$0{,}347 \cdot 10^{-4}$	0,291	29,2	0,147	51	
					Mittel:	71

Wir finden in der ersten Spalte die Intensität I an der Eintrittsstelle in den Trog, in der zweiten Spalte das Produkt $I\,F\,t$, die in der Bestrahlungszeit absorbierte Energie E. Es folgt in der dritten Spalte die in der Bestrahlungszeit entwickelte Sauerstoffmenge v, in der vierten Spalte die hieraus berechnete chemische Arbeit U. In der fünften Spalte stehen die Werte U/E für die Intensitäten der Versuche, in der letzten Spalte die durch Interpolation für die Intensität Null berechneten Grenzwerte, $lim\ \frac{dU}{dE}$ für $E = 0$.

Es ergibt sich aus der Tabelle, daß im Mittel etwa 70 % der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie umgewandelt werden können. Der höchste bisher gemessene Wert liegt, nach einer Angabe von *Brown* und *Escombe*[1]), um 6 %. Indessen sind die Versuche von *Brown* und *Escombe*, die mit andern Objekten und mit Strahlung von anderer spektraler Zusammensetzung angestellt wurden, mit den unsrigen kaum vergleichbar.

Erinnern wir uns, daß wir zwei Fehler begehen, die den Wert unserer Quotienten herabdrücken — von denen der eine mit der Atmungsmessung, der andere mit der Absorptionsmessung zusammenhängt —, so müssen wir die Werte der Tabelle als Minimalwerte betrachten. Die Ausbeuten an chemischer Energie waren möglicherweise größer, als es den Anschein hat.

Vielleicht ist es nicht ohne Interesse, den Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation mit dem Energieumsatz bei einfachen anorganischen Reaktionen zu vergleichen. Nach den Untersuchungen von *Emil Warburg*[2]) wird bei der Ozonisierung des Sauerstoffs durch die Wellenlänge 209 μμ (Tabelle 2) 50 % der absorbierten Strahlung in chemische Energie umgesetzt, bei der Spaltung der Bromwasserstoffsäure und der Jodwasserstoffsäure durch die gleiche Wellenlänge 18 bzw. 2 %. Eine höhere Ausbeute an chemischer Energie, als im Fall der Ozonisierung des Sauerstoffs, ist unseres Wissens bisher nicht gemessen worden.

Tabelle.

$\lambda = 209$ μμ

Reaktion	$\frac{U}{E} \times 100$
$3\,O_2 = 2\,O_3$	50
$2\,HBr = H_2 + Br_2$	18
$2\,HJ = H_2 + J_2$ (gasf.)	2,1

[1]) *Brown* u. *Escombe*, Proceed. Roy. Soc. Lond. Ser. B. *76*, 24 (1905).

[2]) *E. Warburg*, Zeitschr. f. Elektrochemie *26*, 54 (1920).

VIII.

Die nächste Aufgabe ist es nunmehr, das Verhältnis U/E in verschiedenen Spektralbezirken zu messen. Versuche in dieser Richtung sind begonnen[1]), jedoch noch nicht abgeschlossen. Die Schwierigkeit liegt in der Beschaffung einer Lichtquelle von hoher Flächenhelligkeit, die bei spektraler Zerlegung schmale Bezirke hinreichender Intensität liefert und die lange Zeit konstant brennt.

Immerhin lassen die bisher vorliegenden Versuche erkennen, daß in *den* Spektralbezirken, in denen die Chromatophorenfarbstoffe am stärksten absorbieren, im Blau und in dem erwähnten Bezirk des Rot, U/E nicht größer, wahrscheinlich aber etwas kleiner ist als im Gelb und Gelbrot. U/E würde dann in der Nähe des Gelb ein flaches Maximum zeigen, ähnlich wie die Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche.

IX.

Bei Betrachtung der Tabelle fällt auf, daß der Quotient U/E Schwankungen unterworfen ist, die außerhalb der Fehlergrenzen liegen. Viel größer waren die Schwankungen im Gesamtverlauf der etwa 2000 Versuche, indem wir anfangs wenig mehr als 20 % fanden. Der Energieumsatz ist also in hohem Maß veränderlich mit dem Zustand der Zelle, und es erhebt sich die Frage, ob wir die Bedingungen angeben können, unter denen der eine oder andere dieser verschiedenartigen Zustände entsteht.

Die Bedingung, auf die es hier in erster Linie ankommt, ist eine einfache. Züchten wir bei *hohen* Lichtstärken — etwa in 10 cm Entfernung von einer 75-Watt-Lampe —, so entstehen Zellen, die nur einen geringen Bruchteil der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie verwandeln können. Züchten wir bei *niedriger* Lichtstärke — in 30 cm Entfernung von einer 75-Watt-Lampe —, so entstehen Zellen, die einen großen Bruchteil der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie verwandeln können. Man wird in diesem Verhalten eine zweckmäßige Anpassung an äußere Verhältnisse sehen, da offenbar das Interesse der Zelle an der Ausnutzung der eingestrahlten Energie um so größer ist, je weniger Energie ihr in der Zeiteinheit zugeführt wird.

Läßt man hellgezüchtete Zellen bei niedriger Lichtstärke weiterwachsen, so ändert sich ihre chemische Zusammensetzung im Lauf weniger Tage, ihre Substanz wird prozentisch reicher an Chlorophyll. Aus Lichtpflanzen sind „Schattenpflanzen“ geworden, die als feiner schwarzer Sand den Boden der Kulturgefäße bedecken. Dies ist der Zustand, in dem die absorbierte Strahlung am besten ausgenutzt werden kann. Dauernd bei niedriger Lichtstärke gezüchtet, degenerieren diese Zellen, sie verkleben und wachsen merklich langsamer. Man darf deshalb die bei niedriger Lichtstärke gewachsenen Zellen nicht zur Nachzucht benutzen, sondern man hält am besten eine Stammkultur bei hellem Tageslicht, läßt von hier aus abgezweigte Kulturen etwa acht Tage bei schwacher Beleuchtung wachsen und mißt dann den Energieumsatz. Tut man das, so wird man immer Material haben, das den größeren Teil der absorbierten Strahlungsenergie in chemische Energie verwandeln kann.

X.

Können wir uns durch Variation der Kulturbedingungen Organismen verschaffen, die absorbierte Energie in verschiedenem Maße ausnutzen, so ist es andererseits auch möglich, den Energieumsatz eines gegebenen Organismus direkt zu beeinflussen. Wie bisher, so haben wir im folgenden nur den Energieumsatz bei niedrigen Bestrahlungsintensitäten im Auge, sehen also von den besonderen Faktoren, die den Energieumsatz bei hohen Intensitäten bestimmen, völlig ab.

Bringen wir gewisse chemisch indifferente Stoffe in das Chromatophor hinein, so sinkt die Ausbeute an chemischer Energie, um so mehr, je ausgesprochener diese Stoffe die Eigenschaft haben, an Grenzflächen adsorbiert zu werden. Entfernen wir sie wieder aus dem Chromatophor, so wird der Energieumsatz alsbald wieder normal.

Derartige und andere Versuche, auf die wir hier nicht eingehen, führen zu der Auffassung[1]), daß wir es mit einem Vorgang an Grenzflächen zu tun haben. Wir wollen diese Auffassung folgendermaßen präzisieren: Die in Wasser unlöslichen Chromatophorenfarbstoffe sind mit dem farblosen Gerüst des Chromatophors zu einem festen Adsorbens verbunden. An der Grenze dieses gefärbten Adsorbens gegen den farblosen wässerigen Inhalt des Chromatophors ist die Kohlensäure — in einer noch nicht näher bekannten Form[2]) — adsorbiert. *Hier, in der Grenzschicht, wird die von den Farbstoffen aufgenommene Energie* auf die Kohlensäure übertragen. Es ist damit zunächst die Tatsache erklärt, daß gelöste oder kolloidal verteilte Chromatophorenfarbstoffe nicht imstande sind, bei Bestrahlung Kohlensäure zu spalten. Der Versuch, mit Hilfe vom Chromatophor abgelöster Farbstoffe Kohlensäure zu reduzieren, verlief, so oft er unternommen wurde, negativ.

Betrachten wir die Vorgänge, die sich in der genannten Grenzschicht abspielen,

[1]) Vgl. *C. Müller* u. *O. Warburg*, Tätigkeitsbericht der Physikal.-Technischen Reichsanstalt, 1920, S. 3.

[1]) *O. Warburg*, Die Naturwissenschaften 1921, Heft 18; Zeitschrift f. Elektrochemie *28*, 70 (1922).

[2]) In einem langsam verlaufenden chemischen Dunkelvorgang, der sogenannten Blackmannschen Reaktion, wird die Kohlensäure, nachdem sie in die Zelle hineindiffundiert ist, zunächst verändert, und zwar offenbar so, daß aus CO_2 oder H_2CO_3 ein stärker adsorbierbarer Stoff entsteht. Die Blackmannsche Reaktion bestimmt den Umsatz in chemische Energie bei hohen Bestrahlungsintensitäten, das heißt unter Bedingungen, von denen in dieser Arbeit nicht die Rede ist.

etwas näher, so ergibt zunächst die Anwendung der Quantentheorie, *wieviel* Energie von einem Farbstoffmolekül bei der Absorption aufgenommen wird. Bei Bestrahlung mit Natriumlicht, dessen Wellenlänge etwa dem Schwerpunkt der von uns angewandten Strahlung entsprechen dürfte, ist der fragliche Energiebetrag 49 000 cal. (wobei wir der Übersichtlichkeit wegen $h.\nu$ mit der Avogadroschen Zahl multiplizieren). Dies also ist die Energie, die ein Mol Chlorophyll bei der Absorption von Natriumlicht aufnimmt.

Um ein Mol Kohlensäure nach der Assimilationsgleichung zu reduzieren, ist eine Energiezufuhr von 112 300 cal. erforderlich, woraus folgt, daß *ein* Kohlensäuremolekül mit mindestens drei Farbstoffmolekülen in Wechselwirkung treten muß. Wie man sich den Vorgang der Energieübertragung im einzelnen auch denken mag, jedenfalls verläuft er unter geeigneten Bedingungen so, daß der größere Teil der absorbierten Strahlungsenergie von dem Kohlensäuremolekül aufgenommen und in ihm zur Leistung chemischer Arbeit benutzt wird. *Insbesondere ist hier für Zwischenreaktionen von erheblicher Wärmetönung kein Raum.*

Willstaetter[1]) hat die Vermutung ausgesprochen, daß bei der Kohlensäureassimilation aus Kohlensäure oder einem Kohlensäurederivat zunächst Ameisensäureperoxyd entstehe:

(Kohlensäure) (Ameisensäureperoxyd)

Die Abspaltung des Peroxydsauerstoffes würde Formaldehyd, die Kondensation des Formaldehyds würde Traubenzucker liefern, beides freiwillig verlaufende, mit kleiner Wärmetönung verbundene Reaktionen. Die chemische Arbeit wird bei dem ersten Vorgang geleistet, bei dem *innerhalb des Kohlensäuremoleküls* eine Umlagerung von Atombindungen erfolgt. Dies ist ein von Kohlensäure zum Traubenzucker führender Weg, auf dem — so wie wir es verlangen — Zwischenreaktionen von erheblicher Wärmetönung nicht vorkommen.

XI.

Die bei der Absorption aufgenommene Energie steht einem Molekül nur für kurze Zeit in freiverwandelbarer Form zur Verfügung. Diese Zeit, die sogenannte „Lebensdauer" des energiereichen Moleküls, schätzt man im allgemeinen auf 10^{-8} Sekunden. Trifft ein Chlorophyllmolekül innerhalb dieser kurzen Zeit nicht auf ein Kohlensäuremolekül, so ist die absorbierte Strahlungsenergie für die chemische Arbeitsleistung verloren.

Soll also die absorbierte Energie möglichst vollständig ausgenutzt werden, so darf kein Teil der Oberfläche länger als 10^{-8} Sekunden mit einem anderen Stoff als mit Kohlensäure bedeckt sein, eine Bedingung, die niemals erfüllt sein kann, weil die Zelle neben Kohlensäure andere adsorbierbare Stoffe, zum mindesten Traubenzucker, in gelöster Form enthält. Diese Stoffe werden Kohlensäure von der Oberfläche verdrängen. Sie werden zwar in kinetischem Austausch mit der Kohlensäure ihre Plätze an der Oberfläche wechseln, jedoch zeitweise bestimmte Oberflächenbezirke blockieren und hier den Umsatz in chemische Energie verhindern.

Die Theorie klärt in einfacher Weise eine Reihe von Tatsachen: daß eine Zelle, die schwach belichtet wurde — also wenig Zucker enthält — die Energie vollständiger ausnutzt, als eine stark vorbelichtete Zelle; daß chemisch indifferente Stoffe, die an Grenzflächen gehen, den Umsatz in chemische Energie verhindern; daß die schwach adsorbierbare Blausäure, die andere Vorgänge in dem Chromatophor hemmt, ohne Einfluß auf den Energieumsatz ist. Die Theorie erklärt allgemein, warum der Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation keine konstante Größe ist, sondern veränderlich mit dem Zustand der Zelle.

[1]) *Willstaetter* u. *Stoll*, Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin 1918, S. 416.

Die Fernrohre nach Kepler und nach Galilei — ein Vergleich.

Von A. Sonnefeld, Jena.

Trotzdem die Erfindung der Keplerschen und Galileischen Fernrohre schon etwa 3 Jahrhunderte zurückliegt und diese optischen Instrumente sehr bekannt und weitverbreitet sind, bestehen heute noch bei vielen Optikern über ihre theoretischen Grundlagen Unklarheiten, und es wird immer wieder außer acht gelassen, daß ein tiefgreifender Unterschied zwischen beiden Fernrohren vorhanden ist. Daß sich in den älteren physikalischen Lehrbüchern durchweg ungenügende und falsche Darstellungen der Theorie des holländischen Fernrohres finden, darauf hat zuerst wohl *N. Lubimoff* in seiner Abhandlung: „Neue Theorie des Gesichtsfeldes und der Vergrößerung der optischen Instrumente" aufmerksam gemacht (1872). Weiterhin sind besonders von *S. Czapski* und *M. v. Rohr* richtige Darstellungen gegeben worden. Es scheint aber, daß diese Arbeiten nicht die verdiente Beachtung gefunden haben, denn immer wieder findet man in neueren Lehrbüchern die alten falschen Anschauungen. Nach *Lubimoff* rührt der Fehler von *Euler* (1780) her und ist wahrscheinlich auch deswegen so schwer zu bekämpfen. *Euler* hat danach für das astronomische (Keplersche) Fernrohr mit sammelndem Okular gültige Überlegungen auf das holländische (Galileische) Fernrohr mit zerstreuendem Okular einfach übertragen,

was, wie hier gezeigt wird, nur unter gewissen Voraussetzungen zulässig ist.

Beim astronomischen Fernrohr liegen die Dinge bekanntlich so: Eine sammelnde Linse oder Linsenzusammenstellung (Objektiv) entwirft von sehr weit (unendlich) entfernten Dingen Bilder in einer zur Achse der Linsen senkrechten Ebene, die Brennebene genannt wird. Hinter dieses auffangbare Zwischenbild tritt eine zweite sammelnde Linse oder Linsenanordnung (Lupe, Okular), die eine doppelte Wirkung ausübt: erstens werden die von der Objektivöffnung herkommenden und sich dort auch schneidenden, bilderzeugenden Strahlenbündel in ihrem Auseinanderstreben aufgehalten und erneut hinter

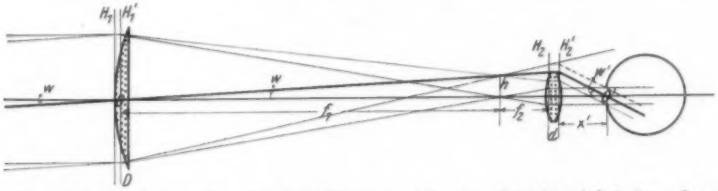

Fig. 1. Zur Ableitung des Wertes für die Vergrößerung und den Gesichtswinkel $2w$ des astronomischen Fernrohrs mit sammelndem Okular. D ist Durchmesser des Objektivs, d Durchmesser des Okulars. Augenpupille und Austrittspupille haben zum gemeinsamen Mittelpunkt den Hauptstrahlenkreuzungspunkt auf der Bildseite O', das durch das Okular erzeugte Bild der Objektivmitte O, Hauptstrahlenkreuzungspunk auf der Dingseite. O und O' sind Projektionszentren der Abbildung. Von den schief einfallenden Strahlen werden am Rande nur Teile durchgelassen, die Helligkeit nimmt von einer bestimmten Hauptstrahlneigung an stetig ab. (Vignette.)

Pupille des Auges, dies beobachtet, wie durch ein rundes Loch, die vergrößerten Dinge (Schlüssellochbeobachtung).

In Fig. 1 hat mit Absicht die Okularlinse eine große Öffnung. Bei den gewöhnlichen Fernrohren mit sammelndem Okular wird nämlich das brauchbare Gesichtsfeld des Objektivs kaum zur Hälfte ausgenützt, und das hat seinen Grund darin, daß man starke Vergrößerungen erreichen will, die, wie bald gezeigt wird, bei vorgegebener Objektivbrennweite mit abnehmender Okularbrennweite wachsen. Riesenokulare vom Huygensschen Typus für große astronomische Fernrohre werden neuerdings von der Firma C. Zeiß angeboten; sie haben bei 150 mm Brennweite ein

Fig. 2. Die beiden Zeißschen Okulare, das größte $f = 150$ mm, Gesichtsfeld 80°, das kleinste $f = 5$ mm, Gesichtsfeld 40°.

dem Okular zum Schnitt gebracht, und zweitens werden die einzelnen konvergenten Bündel wieder in Parallelbündel umgewandelt. In der Sprache der Optik heißt dieses: Die als Entrittspupille geltende Objektivöffnung wird durch das Okular in die Austrittspupille abgebildet und die hintere Brennebene des Objektivs fällt mit der vorderen Brennebene des Okulars zusammen. Die Austrittspupille ist als kleiner Lichtkreis an jedem Fernrohr leicht zu sehen, wenn man aus einer Entfernung von etwa 25 cm durch das Fernrohr nach einem hellen Hintergrund sieht. Beim astronomischen Fernrohr ist die Austrittspupille zugänglich, und man kann den kleinen Lichtkreis mit einem hellen Blatt Papier auffangen. An die Stelle dieser Austrittspupille, die bei den mittelstarken Okularen etwa 1 cm hinter der augennahen Okularfläche liegt, tritt nun die

Gesichtsfeld von 80° und bieten ein so wundervolles Bild des fernen Sternenhimmels, daß nicht nur der Laie, sondern auch der Astronom vom Fach helle Freude bei dem Anblick empfindet. In Fig. 2 werden die Zeißschen Okulare vom kleinsten $f = 5$ mm bis zum größten $f = 150$ mm vorgestellt.

Aus der Fig. 1 lassen sich leicht die Werte für die Vergrößerung und das Gesichtsfeld beim astronomischen Fernrohr herleiten. Die Vergrößerung wird durch das Verhältnis

$$V = \lim_{w=0} \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w}$$

bestimmt. Es sei absichtlich hierbei vermieden, eine Ableitung zu geben, bei der das Zwischenbild als selbstleuchtendes Objekt aufgefaßt wird, weil sie zu ungenauen Vorstellungen und Miß-

verständnissen führt. Es gilt im achsennahen Gebiet, d. h. für sehr kleine Winkel w:

$$f_1 = \frac{h}{\operatorname{tg} w} \quad \ldots\ldots\ldots (1$$

und weiter, wenn d der Okulardurchmesser:

$$f_1 + f_2 = \frac{d}{2 \operatorname{tg} w} \quad \ldots\ldots (1'$$

Für den Winkel w' erhält man die Beziehung:

$$x' = \frac{d}{2 \operatorname{tg} w'} \quad \ldots\ldots\ldots (2$$

Durch Division der Gleichungen (1') und (2) erhält man dann:

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1 + f_2}{x'} \quad \ldots\ldots\ldots (3$$

Setzt man für $x' = f_2 + \varepsilon$, worin ε eine, im Verhältnis zu f_2, kleine Strecke ist, da ja bei astronomischen Fernrohren f_1 sehr groß gegen f_2 anzunehmen ist, so folgt, da

$$\varepsilon = \frac{f_2^2}{f_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4$$

$$x' = \frac{f_2}{f_1}(f_1 + f_2) \quad \ldots\ldots\ldots (5$$

Aus (5) und (3) erhält man dann:

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1}{f_2} \quad \ldots\ldots\ldots (6$$

d. h. die Vergrößerung eines astronomischen Fernrohres ist gegeben durch den Bruch:

$$\frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}}$$

Okularfläche etwa 20 mm und größer ist, was z. B. bei den oben erwähnten langbrennweitigen Okularen der Fall ist, nicht mehr die Augenpupille, sondern der Augendrehpunkt an die Stelle der *A. P.* rückt. Dann kann die natürliche Drehung des Auges ausgenutzt werden, und die lästige, bei starken Okularen allerdings unvermeidliche Schlüssellochbeobachtung erübrigt sich. Diese Annehmlichkeit erhöht die Freude an der Beobachtung mit den großen Okularen nicht unwesentlich. Die durch die Objektivmitte gehenden Strahlen werden Hauptstrahlen genannt, es sind die Achsen oder sogenannten Träger der bilderzeugenden Bündel. Die Hauptstrahlen schneiden sich im Projektionszentrum der Abbildung, in der Mitte der Austrittspupille. Fällt dorthin die Mitte der Augenpupille, so tritt Schlüssellochbeobachtung ein, fällt der Augendrehpunkt dahin, so sei die Beobachtung natürlich genannt.

Ein Schönheitsfehler macht sich bei einem astronomischen Fernrohr, dessen Gesichtsfeld durch die Okularöffnung begrenzt wird, unangenehm bemerkbar. Die Sehfeldgrenze erscheint unscharf, verschwommen. Dieser Mangel wird dadurch beseitigt, daß in der gemeinsamen Brennebene eine Gesichtsfeldblende angebracht wird, die dann durch das Okular scharf gesehen wird. Die Bilder dieser Gesichtsfeldblende fallen beide in das Unendliche. Das vom Objektiv entworfene Bild heißt Eintrittsluke, das vom Okular entworfene Austrittsluke. Beim holländischen

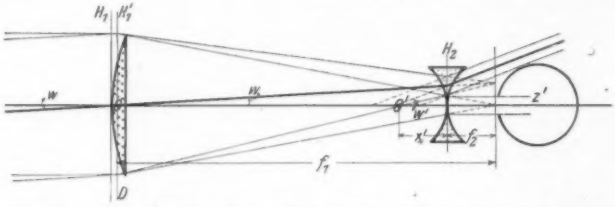

Fig. 3. Holländisches Fernrohr. Augenpupille und Austrittspupille liegen weit auseinander. Die Beobachtung längs der schiefen Bündel wäre sehr umständlich und erschwert die Überwachung des Sehfeldes. O' fällt bei starken Vergrößerungen sehr nahe an den vorderen Brennpunkt der Negativlinse.

Das Gesichtsfeld des astronomischen Fernrohres ist gleich der scheinbaren Größe der Okularöffnung vom Mittelpunkt des Objektivs aus gesehen, wenn keine Blende in der Brennebene des Objektivs angebracht ist. Da die Okularöffnung d ist, so erhalten wir für den Gesichtsfeldwinkel $2w$ aus Gleichung (1) sofort:

$$2w = \operatorname{arc\,tg} \frac{d}{f_1 + f_2} \quad \ldots\ldots (7$$

Da das Gesichtsfeld der astronomischen Fernrohre nur klein ist, so kann man näherungsweise für $2w$ den Wert:

$$\frac{d}{f_1 + f_2} \cdot 57{,}3^\circ \quad \ldots\ldots\ldots (8$$

setzen.

Es sei hierbei gleich darauf hingewiesen, daß, wenn der Abstand der *A. P.* von der augenseitigen Fernrohr hat man es mit einer Austrittsluke im Endlichen zu tun, und ihre Bedeutung wird dort klar werden. Beim Vorhandensein einer Gesichtsfeldblende ergibt sich der halbe wahre Gesichtsfeldwinkel $2w$ aus der Beziehung:

$$\operatorname{tg} 2w = \frac{\text{Blendendurchmesser}}{\text{Objektivbrennweite}}$$

Das astronomische Fernrohr nach *Kepler* unterscheidet sich vom stark vergrößernden Fernrohr nach *Galilei* dadurch, daß an Stelle der sammelnden Okularlinse eine zerstreuende Okularlinse tritt, deren augennahe Brennebene mit der hinteren Brennebene des Objektivs zusammenfällt. Ein Zwischenbild kommt also bei dieser Anordnung nicht zustande, und das Bild der Austrittspupille fällt, wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, zwischen Objektiv und Okular. Die Zer-

streuungslinse sorgt also nicht dafür, daß die vom Objektiv herkommenden auseinander strebenden Bündel hinter der Okularlinse wieder zum Schnitt gebracht werden, sie bewirkt im Gegenteil, wenn wir die vorhergehende Betrachtung am astronomischen Fernrohr auf das holländische übertragen, daß die Hauptstrahlen noch stärker auseinanderstreben. Werden bei beiden Fernrohren gleiche Objektivöffnungen D vorausgesetzt, so erhält man bei gleichen Objektiv- und Okularbrennweiten für den Durchmesser der Austrittspupille bei beiden Fernrohren annähernd

$$D\,\frac{f_1}{f_2}=\frac{D}{V}$$

Aus der obigen Ableitung für die Vergrößerung läßt sich ohne weiteres schließen, daß sich, gleiche Brennweiten von Objektiv und Okular vorausgesetzt, nur das Vorzeichen der Vergrößerung ändert, d. h. man erhält beim Galileischen Fernrohr aufrechte Bilder. Die Erdfernrohre mit sammelndem Okular von gleicher Vergrößerung und gleicher Austrittspupille wie die holländischen Fernrohre erreichen also deren Lichtstärke niemals, weil sie zur Bildaufrichtung weitere lichtschwächende Linsen, Spiegel oder Prismen nötig haben.

Bevor auf das Gesichtsfeld des holländischen Fernrohrs näher eingegangen wird, ist es nötig, eine scharfe Bestimmung des Begriffs Gesichtsfeld vorzunehmen. Das Gesichtsfeld des ruhenden menschlichen Auges ist sehr groß, der Winkel erreicht bald 180°. Wenn auch nur ein ganz kleiner Teil dieses riesenhaften Sehfeldes scharf gesehen wird, so bleibt doch das ganze Gesichtsfeld unter hinreichender Kontrolle. Blickt man von einem Zimmer aus, einige Meter vor einem Fenster stehend, durch dieses ins Freie, so wird, bei ruhiger Kopfhaltung, durch die Fensterumrahmung ein bestimmtes Sehfeld abgegrenzt, in dem auch geringe Veränderungen sofort auffallen (z. B. vorbeifliegender Vogel), ohne daß der Blick gerade auf die Stelle gerichtet war, wo die Veränderung eintrat. Daß das Sehfeld nicht allein bestimmt ist durch die Umrahmung des Fensters, merkt man sofort, wenn man mit dem Kopfe seitliche Bewegungen ausführt. Dabei verschwinden Teile des ersten Sehfeldes und neue treten an ihre Stelle. Die Kontrolle über das erste Sehfeld geht also zum Teil verloren. Die gleiche Beobachtung würde vorliegen, wenn man so durch ein Schlüsselloch guckt, daß das Auge immer einige Zentimeter Abstand von der Öffnung behält. In dieser Weise ließe sich auch das holländische Fernrohr benutzen, weil bei ihm die Austrittspupille unzugänglich ist. Diese Art der Beobachtung wäre aber zweifellos äußerst umständlich, die Kontrolle über das gesamte Sehfeld wäre nur mit großer Mühe aufrechtzuerhalten. Daher kann beim holländischen Fernrohr nur der Augendrehpunkt als Projektionszentrum in Frage kommen. Ein strenggenommen zwingender Grund zu dieser Benutzung liegt zwar bei den Einzelfernrohren nicht vor, aber bei den Doppelfernrohren ergeben sich selbst bei zugänglicher Austrittspupille ziemliche Schwierigkeiten, wenn man Schlüssellochbeobachtung ermöglichen wollte. Ganz allgemein läßt sich sagen, daß Lage und Größe der Austrittsluke und Austrittspupille für die Wahl entscheidend sind, ob die Mitte der Augenpupille oder der Augendrehpunkt Projektionszentrum wird.

Bei den stark vergrößernden Fernrohren mit zerstreuendem Okular ist der Querschnitt der aus der Negativlinse austretenden Parallelbündel meist sehr viel kleiner als die Augenpupille. In diesem Falle ist die Objektivöffnung Eintrittspupille und die Austrittspupille fällt, wenn f_1 gegen f_2 sehr groß ist, nahe an den vorderen Brennpunkt der Negativlinse. Nimmt man an, daß die Augenpupille sich dicht hinter der Negativlinse befindet, so daß ihr Abstand von dieser vernachlässigt werden kann, und faßt das Auge als ruhendes System (indirektes Sehen) auf, legt also die Pupillenmitte und den Augendrehpunkt auf der optischen Achse des Fernrohrs fest, so wird die Augenpupille zur Gesichtsfeldblende und das Gesichtsfeld wird durch den Winkel gemessen, unter dem die Öffnung der Augenpupille von der Mitte des Objektivs aus erscheinen würde. Man erhält also die Beziehung:

$$\operatorname{tg} 2\,w=\frac{\text{Pupillendurchmesser}}{f_1+f_2}$$

Und dies ist der von *Euler* eingeführte Wert für das Gesichtsfeld des holländischen Fernrohrs.

Bleibt aber die Augenpupille kleiner als die Austrittspupille, und das ist der weit wichtigere und häufigere Fall beim holländischen Fernrohr, so wird die Augenpupille zur Austrittspupille des gesamten Systems Fernrohr und Auge, das durch die Negativlinse erzeugte Bild der Objektivöffnung wird zur Austrittsluke (Fenster), durch die das Auge seine natürliche Beobachtung ausführt, und als Hauptstrahlenkreuzungspunkt oder Projektionszentrum gilt daher der Augendrehpunkt. Da die Größe der Austrittsluke mit zunehmender Objektivöffnung wächst, so ist auch das Gesichtsfeld abhängig von der Größe der Objektivöffnung. *Lubimoff* wählt die Mitte der Augenpupille zum Projektionszentrum, führt also eine der Schlüssellochbeobachtung entsprechende Benutzung ein, bei der nur durch den achsennahen Teil der Negativlinse beobachtet wird, so, als ob sie auf den wirksamen Pupillendurchmesser abgeblendet wäre. Läßt man dann noch die Augenpupille mit der Negativlinse zusammenfallen, so ergeben sich für das Gesichtsfeld die Lubimoffschen Werte. Für den halben scheinbaren Gesichtsfeldwinkel w' erhält man den Ausdruck:

$$\operatorname{tg} w'=\frac{D/2}{f_1+f_2} \quad \ldots\ldots\ldots (9$$

Der wahre oder dingseitige Gesichtsfeldwinkel $2\,w$

ergibt sich dann, da für kleine w näherungsweise $\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_1}{f_2}$ gilt, aus

$$\operatorname{tg} w = \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{D/2}{f_1 + f_2} \quad \ldots\ldots (10$$

angenähert zu

$$2\,w = \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{D}{f_1 + f_2} \cdot 57{,}3° \quad \ldots\ldots (11$$

Aus Gleichung (8) und (11) erkennt man, daß zwei Fernrohre mit sammelndem und zerstreuendem Okular nur dann gleiches Gesichtsfeld besitzen, wenn die Beziehung $d = \frac{D}{V}$ erfüllt ist, was nur bei ganz schwachen Vergrößerungen möglich ist.

Aus den Sternwarten sind die Galileischen Fernrohre wegen ihres geringen Gesichtsfeldes schon längst verschwunden, und heute versteht man unter einem holländischen Fernrohr meist nur noch einen Operngucker mit 2- bis 3facher Vergrößerung. Der Eulersche Wert für das Gesichtsfeld stimmt mit dem Lubimoffschen bei starken Vergrößerungen nur dann überein, wenn die Austrittspupille bzw. Austrittsluke gleich der Augenpupille ist. Bei zu großer Augenpupille erhält man nach *Euler* zu große und bei zu kleiner Augenpupille zu kleine Werte für das Gesichtsfeld im Vergleich zu den Werten *Lubimoffs*.

Die Beschränkung, daß die Objektivbrennweite sehr groß gegen die Okularbrennweite sei, soll jetzt fallen, und es sollen schwache Vergrößerungen angenommen werden, wie sie bei den Erdfernrohren für den Handgebrauch üblich sind. Über die Fernrohre mit sammelndem Okular ist wenig hinzuzufügen. Die Bildaufrichtung erfolgt heute durchweg mit Hilfe des Porroschen Prismensatzes, wodurch die Länge der Fernrohre ganz erheblich (¼ und noch weniger) verkürzt werden kann. Prismenfernrohre kommen heute allein in Betracht, wenn es sich um stärkere als vierfache Vergrößerungen handelt. Was das Gesichtsfeld anbetrifft, so stehen die Prismenfernrohre aller Vergrößerungen unerreicht da, hinsichtlich der Einfachheit und Lichtstärke sind ihnen jedoch die schwach, etwa bis vierfach vergrößernden holländischen Fernrohre bedeutend überlegen. Daß bei den schwachen Vergrößerungen die natürliche Beobachtung erstrebt wird, ist selbstverständlich.

Die Wirkungsweise eines schwach vergrößernden holländischen Fernrohrs veranschaulicht Fig. 4. Nur Teile der weiten bilderzeugenden Parallelbündel werden von der Augenpupille aufgenommen, und zwar von den achsenparallelen Bündeln die mittleren Teile, von den äußersten schiefen Bündeln die Randteile.

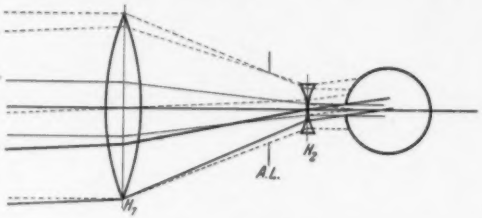

Fig. 4. Holländisches Fernrohr (schematisch) mit großer Austrittsluke und großem Querschnitt der bilderzeugenden Bündel. Die Augenpupille hat auf die Strahlenbegrenzung Einfluß und wird zur Austrittspupille.

Da bei den holländischen Fernrohren mit schwacher Vergrößerung die natürliche Beobachtung eintritt, bei der der Augendrehpunkt zum Hauptstrahlenkreuzungspunkt wird, so ist der von *Lubimoff* in Gleichung (11) gegebene Wert für den Gesichtsfeldwinkel zu groß. Augendrehpunkt und Austrittsluke (Fenster) bestimmen das scheinbare Gesichtsfeld, aus dem sich dann das wahre Gesichtsfeld in bekannter Weise ableiten läßt.

Nimmt man den Augendrehpunkt in einer Entfernung x' hinter der augenseitigen Okularfläche an, für die man in der Praxis einen Wert von mindestens 20 mm annehmen muß, so erhält man für den halben scheinbaren Gesichtsfeldwinkel w' die Beziehung:

$$\operatorname{tg} w' = \frac{D/2}{(f_1 + f_2) - x'\,V} \quad \ldots\ldots (12$$

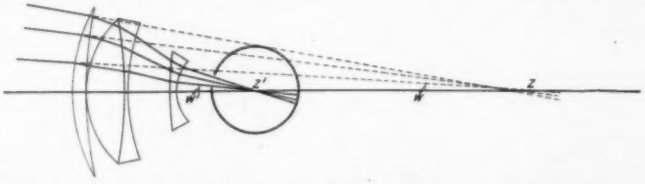

Fig. 5. Ein holländisches Fernrohr zweifacher Vergrößerung, so wie es in Wirklichkeit aussieht, mit dem Verlauf der Hauptstrahlen, die ihren Ausgangspunkt im Augendrehpunkt z' haben, der zugleich Mitte der Austrittspupille ist. Die Eintrittspupille liegt bei z.

Den halben wahren Gesichtsfeldwinkel w erhält man aus der näherungsweise für kleine Winkel zulässigen Beziehung:

$$\operatorname{tg} w = \frac{\operatorname{tg} w'}{V} = \frac{D/2}{V\,(f_1 + f_2) - x'\,V^2} \quad \ldots (13$$

Man beachte, daß f_2 und V negativ sind.

Es interessiert nun noch zu wissen, wenn als Austrittspupille der Augendrehpunkt angenom-

men wird, wohin dann die Eintrittspupille fällt. Sie liegt noch weiter hinter der Negativlinse, und zwar meist einige Dezimeter, bei stärkeren Vergrößerungen sogar einige Meter. Fig. 5 stellt ein modernes Galileisches Fernrohr von zweifacher Vergrößerung und 20° Gesichtsfeld dar. Der Gang der Hauptstrahlen der bilderzeugenden Bündel ist daraus ersichtlich.

Auf die Lage der Eintrittspupille bei den holländischen Fernrohren hat man zu achten, wenn man, gemäß der für endliche Hauptstrahlenneigungen noch mit hoher Annäherung gültigen Beziehung $V = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w}$ die Vergrößerung nachprüfen will. Bekanntlich verfährt man dabei so: In einer Entfernung von etwa 25 m wird eine Meßlatte aufgestellt, und man vergleicht die Größe der beiden Bilder, die man erhält, wenn man mit einem Auge durch das Fernrohr, mit dem anderen Auge so (bloß) nach der Latte sieht. Das Verhältnis der beiden Bilder wird aber nur dann einen guten Annäherungswert für die Vergrößerung liefern, wenn die Mitte der Eintrittspupille des Fernrohrs nicht weit vom Augendrehpunkt entfernt liegt. Bei den Keplerschen Fernrohren ist der Abstand jener beiden Punkte $(f_1 + f_2 + x')$, bei den holländischen Fernrohren dagegen

$$V^2(x' - f_2) - (2f_1 + f_2 + x').$$

Handelt es sich z. B. um Fernrohre von achtfacher Vergrößerung bei einer Objektivbrennweite von $f_1 = 20$ cm, so erhält man, wenn noch $x' = 2{,}5$ cm angenommen wird, für jenen Abstand beim Keplerschen Fernrohr 25 cm, dagegen beim Galileischen Fernrohr 2,8 m. D. h. im ersten Falle würde man die Vergrößerung auf obige Weise bis auf 1 %, im zweiten Falle aber noch nicht einmal bis auf 10 % genau erhalten. Und zwar fällt der Wert für das Keplersche Fernrohr etwas zu groß aus, während er beim Galileischen Fernrohr beträchtlich kleiner wird. Um den richtigen Wert beim letzteren zu erhalten, müßte man den ermittelten Wert mit $\frac{27{,}8}{25} = 1{,}11$ multiplizieren.

Damit sind die Unterschiede der beiden Fernrohrarten mit genügender Schärfe gekennzeichnet, sie bestehen in kurzen Worten in der Verschiedenheit der Lage und Größe der Luken und Pupillen. Möge die absichtlich mehr gemeinverständlich gehaltene Darstellung dazu beitragen, die Grundlagen der Theorie des holländischen Fernrohrs auch denen begreiflich zu machen, die seither ihre optischen Kenntnisse aus alten Lehrbüchern entnommen haben, in denen die Strahlenbegrenzung der optischen Instrumente meist sehr stiefmütterlich behandelt ist. Ein modernes Lehrbuch über Optik darf aber keinesfalls die Lehre von der Strahlenbegrenzung seinen Lesern vorenthalten, wenn es sich nicht der Gefahr aussetzen will, von den Kennern ungünstig beurteilt zu werden.

Besprechungen.

Chapman, E. H., The study of the weather. Cambridge, University Press, 1919. XII, 131 S. 55 Illustr., Taf. u. Karten. Preis geb. 4 *s.* net.

Das Werk bietet eine gute Einführung in die Wetterkunde und ist in erster Linie für britische Benutzer bestimmt. Was ihm aber eine grundsätzliche Bedeutung weit über diesen Kreis hinaus verleiht, ist die Methode, nach welcher der Lehrstoff entwickelt und dem Leser schmackhaft gemacht wird, sowie die auf eine Schärfung des Denkvermögens zugespitzte Art, in welcher aus leicht anzustellenden Beobachtungen folgerichtig allgemeine Resultate abgeleitet und neue Probleme entwickelt werden.

Die einfachen Tatsachen der Witterungsvorgänge, die sich der Wahrnehmung geradezu aufdrängen, dienen als Ausgangspunkte, an die sich weitere Auseinandersetzungen knüpfen. Der Hauptwert aber liegt in den, jedem Abschnitt eingefügten, gut ausgewählten und zahlreichen (258 Nummern) Übungsbeispielen, die möglichst verschiedene Arten der Betätigung erfordern, z. B. Beobachtungen in der Natur, Berechnungen am Schreibtisch, Fragen und Anregungen zur Erörterung im Hörsaal, schwierigere Erörterungen für Intelligente und Vorgeschrittene, Ableitung von Gesetzen aus dem erarbeiteten Wissensstoff, Aufgaben für häusliche Arbeiten, Experimente im Laboratorium usw. Hervorgehoben zu werden verdient, daß der Luftdruck durch Angabe des Gewichtes auf die Flächeneinheit, ferner in Millimetern Quecksilberhöhe, aber auch auf modernste Art in Millibars angegeben und diese letztere Methode sowohl auf den Wetterkarten benutzt, als auch allen Berechnungen zugrunde gelegt wird.

Druck und Ausstattung sind vorzüglich und die Abbildungen, unter denen interessante Wolkenformen auffallen, gut ausgewählt. Der Witterungsverlauf wird an der Hand von Wetterkarten anschaulich erläutert.

O. Baschin, Berlin.

Kayser, E., Lehrbuch der Geologie. I. und II. Band. Allgemeine Geologie. (1) Physiographische Geologie und äußere Dynamik, 2. Innere Dynamik. Sechste vermehrte Auflage. Stuttgart, F. Enke, 1921. I. Bd. XII, 760 S. und 549 Abb. Preis geh. M. 141,—, geb. M. 159,—. II. Bd. VI, 426 S. und 222 Abb. Preis geh. M. 81,—, geb. M. 99,—.

Wer, wie der Referent, die Grundzüge der Geologie seinerzeit nach den ersten Auflagen des Kayserschen Lehrbuches erlernt hat, der wird die neuen Auflagen als ganz neues Werk empfinden, zugleich auch als historisches Dokument über die riesenhaften Fortschritte, welche die Lehre von der Erde in den beiden letzten Jahrzehnten gemacht hat. In unermüdlicher Arbeit hat es der Verfasser immer wieder verstanden, alle neuen Errungenschaften in das Werk hineinzuarbeiten und es auf moderner Höhe zu halten. Nur der Fachmann kann abschätzen, wie schwer es ist, die gesamte Flut neuer Arbeiten zu bewältigen, Nebensächliches von Wesentlichem und Bleibendem zu trennen und das letzte einem schon vorgezeichneten Rahmen so einzufügen, daß die Übersichtlichkeit des Ganzen nicht verloren geht. Vielleicht haben französische Lehrbücher gegenüber den Kayserschen den Vorzug einer besseren Systematisierung und strafferen Gliederung. Die Vollständigkeit des verarbeiteten Materials, welche durch die häufigen Neuauflagen gewährleistet wird, haben sie sicher nicht erreicht. Für Studierende, be-

sondere für Anfänger, ist das Buch vielleicht etwas zu groß, da es eigentlich schon den Umfang eines Lehrbuches überschreitet. Der Fachmann kann es nicht entbehren, da es, durch Index und Literaturzitate bereichert, fast über alle Fragen der allgemeinen Geologie bis in die jüngste Zeit Aufschluß gibt. Vermöge seiner schönen, plastischen Schilderungen und eines prachtvollen Bildermaterials ist es aber auch dem Nichtgeologen, welcher sich ernsthaft mit der Erde beschäftigen will oder muß, durchaus empfehlenswert. Bei einigen Problemen ist ja die subjektive Anschauung nicht zu vermeiden. Wenn z. B. *Kayser*, im Anschluß an *Heim*, in bezug auf die gebirgsbildenden Vorgänge noch ganz auf dem Standpunkt der Kontraktionstheorie steht, so werden ihm heute viele nicht folgen können. Da aber auch die anderen Anschauungen — zum mindesten kurz — zur Schilderung kommen, kann man sich über streitige Fragen an Hand des Buches selbst orientieren.

Die sechste Auflage ist an Umfang stark gewachsen und in zwei Bände geteilt worden. Sie enthält 1186 Seiten gegenüber 1075 der fünften Auflage. Unter den Abschnitten, welche eine Bereicherung erfahren haben, erwähne ich: die Theorien der Polverschiebungen; die Schwereverhältnisse und die geologische Zeitrechnung; eine eingehende Darstellung der klimatischen Verhältnisse der Gegenwart und Vergangenheit; eine sehr nützliche Tabelle der Verbreitung von Mineralien in Gesteinen; eine etwas ausführlicher ausgebaute Übersicht der wichtigsten Gesteinstypen; neue Angaben über die Tuffröhren Südafrikas mit schönen Bildern; Ausführungen über den Vulkanismus der Tiefe. Manches Neue steht auch in den Abschnitten über Windwirkung und Wüste, über Klima und Verwitterung, über Glazialbildungen, über die Ursachen des Vulkanismus, über Erdöl und Asphalt. In den Abschnitten über Gebirgsbildung wäre die Schilderung der Lehmannschen Trogtheorie und das nähere Eingehen auf die pazifischen Tiefseegräben zu erwähnen. Ferner bringt der Abschnitt über die Verschiebung der Dreieckpunkte im südbayrischen Vermessungsnetz einige sehr wichtige und ganz moderne Angaben.

Sehr zu begrüßen ist die fast ganz neu eingefügte Darstellung der Bodenbildung und die starke Umarbeitung des Abschnittes über Erdbeben, der somit auch auf ganz zeitgemäßer Höhe steht.

Viele neue Bilder bilden eine wertvolle Ergänzung des Buches. Nur einige seien erwähnt: ein schönes Bild aplitischer Lagergänge im Erongogebirge, ein großes Profil durch Schwarzwald und Vogesen und ein übersichtliches Kärtchen vom Südende des Rheintalgrabens; eine sehr lehrreiche Abbildung der Viktoriafälle am Sambesi; einige schöne neue Wüstenbilder; ein sehr wirkungsvolles Bild eines schwimmenden Eisberges; sehr anschauliche Seismogramme; *Holtedahls* Darstellung der Gestaltung des arktischen Gebietes in paläozoischer Zeit. Sehr wichtig ist die Einfügung der Karte, welche eine Verbreitung des Urgebirges mit Streichzeichen angibt (nach *Ruedemann*).

Ich kann diese Aufzählung nicht weiterführen; wer sich über ein bestimmtes Problem unterrichten will, oder wer Literatur darüber sucht, kann gewiß sein, im Kayserschen Lehrbuch auch das Neueste darüber zu finden. Begrüßenswert fände ich es, wenn in späteren Auflagen noch ein kurzer Abschnitt über die Geschichte der Geologie hinzugefügt würde. Dieser Gegenstand ist der Erwähnung wert, wird aber in allen Lehrbüchern nur ganz kurz gestreift. *S. von Bubnoff, Breslau.*

Born, A., Allgemeine Geologie und Stratigraphie: Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe Bd. *II.* Dresden und Leipzig, Theodor Steinkopff, 1921. 145 S. Preis M. 20,—.

Das Bändchen will einen Überblick über die wesentlichsten Fortschritte der Geologie während der Kriegsjahre geben. Es soll vor allem den Verlust, den mancher durch das erzwungene Ruhenlassen jeder wissenschaftlichen Betätigung während des Krieges erlitten hat, einholen helfen. Darüber hinaus wird es aber auch allen denen willkommen sein, die sich möglichst rasch über die aktuellen Probleme und bis zu einem gewissen Grade über den gegenwärtigen Stand der Geologie unterrichten wollen, d. h. allen jüngeren Geologen und allen geologisch interessierten Nichtfachleuten. Diesem Ziele kommt besonders der bei aller Kürze das Wesentliche kennzeichnende Text entgegen, der das Literaturverzeichnis begleitet und in Stichworten gleichsam einen Führer durch die geologische Literatur der Kriegsjahre darstellt.

E. Bederke, Breslau.

Klockmann, F., Lehrbuch der Mineralogie. 7. und 8. Auflage. Stuttgart, Ferdinand Enke, 1922. XI, 667 S., 580 Abbildungen u. 2 Anhänge. 16×24½ cm. Preis geh. M. 144,—; geb. M. 171,—.

Nach zehnjähriger Pause ist der 5. und 6. Auflage des beliebten Lehrbuches jetzt die 7. und 8. gefolgt. Die Zahl der Seiten ist von 628 auf 667, die der Textfiguren von 562 auf 580 gestiegen; den Bestimmungstabellen für 250 Mineralarten ist als zweiter Anhang eine Übersicht über die nutzbaren Mineralien hinzugefügt, d. h. über solche, die in Technik, chemischer Industrie, Landwirtschaft oder sonst in der Volkswirtschaft Verwendung finden; dabei werden auch das geographische Auftreten, das geologische Vorkommen („Lagerstätte") und die Vergesellschaftung („Paragenese") besonders eingehend behandelt. Auch in dem systematischen Teil des Buches (S. 325—646) hat der Verfasser, offenbar aus den Gesichtspunkten der Aachener Technischen Hochschule und deren bergbaulicher Abteilung, an der er wirkt, den nutzbaren Mineralien und ihrem Vorkommen besondere Sorgfalt gewidmet. Theoretisch wird die Lagerstättenkunde in dem allgemeinen Teil des Buches, der, wie üblich, dem systematischen vorausgeht, in einem umfangreichen Kapitel behandelt. Jener erste Abschnitt des Werkes bringt die Gesetze, Theorien und Methoden der Mineralogie und hauptsächlich der Kristallographie in guter und klarer Weise zur Darstellung. Dabei werden die Kristallformen mit Recht als Wachstumserscheinungen und somit als Gegenstand der Kristallphysik betrachtet. Nur das Fehlen eines Kapitels über Kristallstruktur muß ich als Mangel bezeichnen; im übrigen sei das Buch warm empfohlen.

A. Johnsen, Berlin.

Voltz, Fr., Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen. Berlin, Urban und Schwarzenberg, 1921. VII, 300 S. und 173 Figuren. Preis geh. M. 48,—; geb. M. 66,—.

In neuerer Zeit beschäftigt sich die therapeutische Röntgentechnik vorwiegend mit dem Problem der Krebsheilung, das in physikalischer Hinsicht zu folgenden zwei Aufgaben führt:

1. Erzeugung möglichst durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen,
2. Ausbildung von Methoden zur exakten Dosierung der verabreichten Strahlungsmenge.

Gerade die relativ geringe Strahlungsempfindlichkeit der Krebszellen verlangt gebieterisch eine sichere Beherrschung der Meßtechnik. Eine zu große Dosis bedingt schwere Schädigungen der umgebenden gesunden Körperpartien, während eine zu kleine Dosis im Gegenteil das Wachstum der Krebszellen befördert („Reizdosis"). Nach dem gegenwärtigen Stand ist keines der Meßverfahren ganz befriedigend. Es ist daher im Interesse des Fortschrittes auf diesem Gebiete sehr zu begrüßen, daß der Verfasser in dem vorliegenden Buch, das sich nicht bloß an den Arzt, sondern auch an den Techniker und Physiker wendet, eine erschöpfende Darstellung sämtlicher zur Messung der Qualität und Quantität der Röntgenstrahlen angegebenen Methoden bietet. Die physikalischen Voraussetzungen dieser Verfahren und die Grundbegriffe der Röntgenstrahlenmessung (Heterogenität, Halbwertschicht usw.) werden in dem theoretischen Teil in klarer Darstellung behandelt; im praktischen Teile wird sodann eine Beschreibung der Ausführung der Verfahren unter Anführung der zu beachtenden Fehlerquellen gegeben. Die zahlreichen Literaturnachweise werden jedem auf diesem Gebiet wissenschaftlich arbeitenden Leser besonders erwünscht sein.

R. Glocker, Stuttgart.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Zur Geschichte des Ammoniakverfahrens.

Irreführende Angaben, die letzthin in Lehrbüchern veröffentlicht worden sind (siehe z. B. *Trautz'* Lehrbuch der Chemie, S. 119, 1922), veranlassen mich zu folgenden Bemerkungen über die Geschichte der Ammoniakgewinnung aus dem Luftstickstoff. Ich fühle mich dazu verpflichtet, da jene Angaben in einem merklichen Widerspruch stehen zu einer Darstellung, die ich vor einiger Zeit gegeben habe (siehe Chemiker-Zeitung 1919, Nr. 150).

Schon in ihren ersten Arbeiten sprechen sich *Haber* und *van Oordt* eindeutig in dem Sinne aus, daß gemäß dem Prinzip von *van't Hoff* und *Le Chatelier* die Ammoniakausbeute mit höherem Druck steigen müsse (siehe Zeitschrift für anorganische Chemie Bd. *44*, S. 344 und 357, 1905). Die Messungen wurden von ihnen bei gewöhnlichem Druck ausgeführt, weil sie unter möglichst einfachen Versuchsbedingungen zu arbeiten suchten. Weitere Veröffentlichungen anderer Forscher, die diesen Druckeinfluß betreffen, sind mir aus den Jahren 1904 und 1905 nicht begegnet[1]). Mündlich wurde er wohl oft zwischen Fachgenossen erörtert; er lag ja bei der großen Volumenänderung, die bei der Ammoniakbildung auftritt, allzusehr auf der Hand. Als nun *Nernst* 1906 die Folgerungen aus dem von ihm gerade gefundenen Wärmesatz prüfte, kam er zum Ergebnis, daß die theoretisch berechnete Dissoziation des Ammoniaks größer sei, als sie sich aus den Versuchen von *Haber* und *van Oordt* ergab. In der Tat bestätigten Messungen von *Jost*, die er veranlaßt hatte, und die bei höheren Drucken ausgeführt wurden, die niedrigeren, von der Theorie geforderten Ammoniakausbeuten. *Haber* und *Le Rossignol* gelangten in einer gleichzeitig erschienenen, durch eine briefliche Mitteilung von *Nernst* angeregten Arbeit, die bei gewöhnlichem Druck mit besonderer Sorgfalt ausgeführt war, gleichfalls zu kleineren Zahlen, die denen von *Jost* nahe lagen. *Nernst* zog aus diesen Ergebnissen die Folgerung, die Aussichten, Ammoniak auf dem genannten Wege technisch herzustellen, seien nicht groß. Er sagt gelegentlich der Erörterung der Jostschen Arbeit bei der Hauptversammlung der Bunsengesellschaft zu Hamburg 1907 (Zeitschrift für Elektrochemie Bd. *13*, 524, 1907): „Dann darf ich vielleicht nur noch eine Tatsache konstatieren, die von allgemeinem technischen Interesse ist. Es ist sehr bedauerlich, daß das Gleichgewicht nach der Seite der viel geringeren Bildung mehr verschoben ist, als man nach den stark unrichtigen Zahlen *Habers* bisher angenommen hat, denn man hätte wirklich daran denken können, Ammoniak synthetisch herzustellen aus Wasserstoff und Stickstoff. Aber jetzt liegen die Verhältnisse sehr viel ungünstiger, die Ausbeuten sind ungefähr dreimal kleiner als zu erwarten war." Und ähnlich urteilten damals wohl die meisten Fachgenossen. *Haber* gab jedoch das Rennen noch nicht auf. Es gelang ihm, Druck und Katalysator so glücklich zu wählen, daß sich im Laboratorium Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff in guten, sicheren Ausbeuten gewinnen ließ, und er überwand so die Zweifel, die noch von technischer Seite gehegt wurden. Über die außerordentlichen Leistungen von *Bosch* und *Mittasch* bei der Durchführung des Verfahrens im Großen herrscht keine Meinungsverschiedenheit. Aber ihre Arbeit setzte voraus, daß die Überzeugung durchgedrungen war: das Ammoniakverfahren ist technisch möglich. Und dies Vertrauen fußte nicht auf einem ermutigenden, aus dem Prinzip von *van't Hoff* und *Le Chatelier* folgenden Schluß bezüglich des günstigen Einflusses hoher Drucke, erst recht nicht auf einem entmutigenden Schluß bezüglich der geringen Ausbeuten auf Grund des Nernstschen Wärmesatzes, sondern lediglich auf *Habers* Laboratoriumsversuchen.

Berlin-Dahlem, den 27. Mai 1922.

H. Freundlich.

[1]) Eine Angabe von *Perman* (Proc. Roy. Soc. A. *76*, 171, 1905) kann in diesem Sinne nicht gewertet werden, da er die Gültigkeit des Massenwirkungsgesetzes bei dem Ammoniakzerfall nicht anerkennt.

Botanische Mitteilungen.

Über die Lebewelt der Nepentheskannen. Daß die dem Tierfang dienenden Kannen von Nepenthes von zahlreichen Organismen bewohnt werden, die den Verdauungssäften zum Trotz ihren Lebenszyklus ganz oder zum Teil in der Kannenflüssigkeit vollenden, ist seit den ersten Angaben von *Sarasin* von verschiedenen Forschern bestätigt worden. Namhaft gemacht wurden bis jetzt Nematoden (Fadenwürmer) und Larven von Mücken, Fliegen, Milben und Lepidopteren. *P. v. Oye* konnte diese Liste in einer Untersuchung, die sich auf Nepenthes melamphora erstreckte (Biol. Centralbl. *41*, 1921), um zahlreiche Arten vermehren. So fand er eine Cyanophycee (Merismopedium), eine Desmidiacee (Euastrum) und verschiedene Diatomeen aus den Gattungen Epithemia, Achnanthes, Navicula und Cocconëis. Es sind dies lauter Algen, die an sehr diffuses Licht, wie es ja in den Nepentheskannen herrscht, angepaßt sind. Zu diesen pflanzlichen Organismen gesellen sich noch eine Reihe von Rhizopoden (Centropyxis, Difflugia, Lesquereusia, Arcella, Amoeba und Cochliopodium). Hierunter befindet sich eine Art, die bis jetzt bloß in Nepentheskannen beobachtet wurde — Amoeba nepenthesi. Daß die Protozoen ein starkes Kontingent stellen, ist ja nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß sie auch häufig in den fer-

mentreichen Darmsäften auftreten. Auch den übrigen Formen muß — vielleicht durch sekundäre Anpassung — die Eigenschaft der Enzymfestigkeit zukommen, sonst würden sie ja der Verdauung zum Opfer fallen. Wie man sieht, handelt es sich um eine formenreiche Lebensgemeinschaft (Biocönose), deren Biologie im einzelnen zu durchforschen noch eine dankbare Aufgabe darstellt.

Über die Reizleitung der Mimosen. So viel schon von pflanzenphysiologischer Seite über die Reizbewegungen der Sinnpflanze (Mimosa) gearbeitet worden ist, so regt doch dieses dankbare Objekt zu immer neuen Fragestellungen an. Über die Versuche *Riccas*, bei denen es geglückt ist, eine Reizleitung zwischen der abgeschnittenen Spitze und dem Stumpf festzustellen, selbst dann, wenn zwischen beiden eine Wassersäule von mehreren Zentimetern Länge eingeschaltet war, ist in dieser Zeitschrift berichtet worden. Von einer neuen Seite faßt *Lieske* (Ber. d. D. Bot. Ges. *39*, 1921) das Reizleitungsproblem an. Er stellt sich die Frage, ob es möglich ist, ein Übergreifen des Reizes zwischen Reis und Unterlage zu erzielen, wenn man verschiedene Mimosaarten aufeinander pfropft. Die Experimente erstreckten sich auf M. pudica, M. Spegazzini und M. elliptica. Die zuletzt genannte Art zeigt viel trägere Reaktionen als die beiden anderen Formen. Näher geschildert wird das Verhalten der Pfropfung M. Spegazzini auf M. elliptica. Reizt man die Blättchen der Unterlage durch Anbrennen, dann senken sich die Fiederchen um etwa 10—20°, und zwar mit nicht zu großer Geschwindigkeit; die Reaktion greift in üblicher Weise auf ungereizte Blätter über und pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 2—3 cm pro Sekunde fort. Beim Übertritt des Reizes auf das Reis ist eine Beschleunigung auf den dreifachen Wert festzustellen. Außerdem erfolgt das Zusammenklappen der Blättchen viel rascher und mit wesentlich verstärktem Ausschlag. Genau das umgekehrte Bild erhält man, wenn man das Reis ansengt: im Reis selbst starke und rasche Reaktion, verbunden mit hoher Fortpflanzungsgeschwindigkeit, in der Unterlage allgemeine Dämpfung. Sehr interessant wäre das Verhalten von Pfropfungen, bei denen empfindliche Formen mit solchen kombiniert würden, bei denen normalerweise keine Reaktion auftritt; es könnte ja sein, daß eine Reizung des vielleicht bloß scheinbar unempfindlichen Partners zu einer Reizbeantwortung bei der anderen Komponente führt. Hierüber liegen aber noch keine Daten vor.

Die Darmflora des Menschen. In einer kurzen zusammenfassenden Darstellung behandelt *W. Henneberg* die Darmflora des Menschen und anschließend daran diejenige einiger Säugetiere (Pferd, Schwein, Rind, Hund usw.) und Vögel (Huhn, Taube). Es nehmen an ihr teil vor allem die verschiedensten Gruppen der Bakterien, ferner Actinomyceten und Pilze (insbesondere Hefen). Ihre Verteilung im Verdauungstraktus ist nicht gleichmäßig, sondern die verschiedenen Bezirke (Magen, Dünndarm, Dickdarm) weisen ihre Besonderheiten auf. Ferner unterscheidet sich die Darmflora eines Säuglings von der eines Erwachsenen, diejenige eines Gesunden von der eines Kranken usw. Durch Zufuhr von besonderen Nahrungsmitteln kann die Zusammensetzung der Flora in bestimmter Weise verändert werden; so führt Milchgenuß zu verstärktem Auftreten von Milchsäurebakterien, Genuß von Zellulosen und stärkehaltigen Zellen begünstigt die Anreicherung von Zellulose, Pektin und Stärke fressenden Bakterien, eine Tatsache, die sich in gesteigerter Gasbildung äußert. So sind denn auch durch den täglichen Genuß von Brot gewisse Mikroorganismen zu ständigen Darmbewohnern geworden. Hinsichtlich ihres Stoffwechsels gehören die Darmorganismen den verschiedensten Typen an: Zellulose-, Pektin-, Stärke-, Eiweißverzehrer usw. Es handelt sich um eine richtige Arbeitsgemeinschaft, bei der oft die eine Form erst die geeigneten Bedingungen für die Tätigkeit einer anderen schafft. So werden durch die Pektinorganismen die Zellen voneinander losgelöst, dann werden durch die Zellulosebakterien die Wände abgebaut, und hieran schließt sich die Verwertung des Zellinhalts mit Hilfe von diastatischen, peptischen und sonstigen Enzymen an. Für den Menschen ist das Vorhandensein dieser Organismen — falls es sich nicht um pathogene Formen handelt — von hoher Bedeutung, weil oft erst durch sie die Nahrungsstoffe in eine Form gebracht werden, in der sie für die Verdauungssäfte zugänglich sind. So ginge die Stärke, wenn sie, was bei Hülsenfrüchten häufig der Fall ist, durch das Kochen nicht genügend verkleistert ist, ungenützt ab. Derartige Beispiele gibt es noch in großer Anzahl, und sie illustrieren uns in deutlicher Weise, welche wichtige Rolle den Darmbewohnern im Stoffwechsel des Menschen und anderer Vertebraten zufällt.

Die Übereinstimmungen zwischen Diatomeen, Heteroconten und Chrysomonaden. In einer früheren Arbeit hat *Pascher* die drei Algengruppen der Diatomeen, Heteroconten und Chrysomonaden auf Grund eines systematischen Vergleichs zu einem besonderen Stamm, den Chrysophyten, vereinigt, deren phylogenetische Entwicklung jener der Chlorophyten parallelgehend zu denken wäre. Die Momente, die für diese Ableitung sprechen, werden nun in einer weiteren Studie (Ber. d. D. Bot. Ges. *39*, 1921) näher begründet. Da ist zunächst die Tatsache hervorzuheben, daß die Membranverhältnisse recht auffällige gemeinsame Züge aufweisen: „bei allen drei Reihen kommt das Längenwachstum der Zelle durch den Einschub differenter fingerlingartig ineinander steckender Stücke zustande, von denen die inneren jüngeren immer länger sind als die äußeren älteren". Aber die Übereinstimmung der Zellwand geht noch weiter: die für die Diatomeen so bezeichnende Zweischaligkeit ist auch in vielen Fällen bei den Heteroconten und Chrysomonaden sowohl für die vegetativen Zellen als auch für die Sporen nachgewiesen; dasselbe gilt für die Verkieselung. Ein weiterer beachtenswerter Einzelzug ist der, daß die für manche Diatomeenzysten charakteristischen bäumchenartig verzweigten Schalenskulpturen auch bei manchen Chrysomonaden auftreten, und zwar beide Male auf der äußeren Schale. Auch die Begeißelung weist wenigstens bei Heteroconten und Chrysomonaden verwandte Züge auf; so konnte für viele Chrysomonaden nachgewiesen werden, daß hier, wie bei den Heteroconten zwei verschiedenartige Geißeln vorhanden sind. Für die Diatomeenschwärmer sind diese Verhältnisse noch nicht geklärt. Hinsichtlich der Zellinhaltsstoffe ist zu bemerken, daß in allen drei Fällen Stärke fehlt und ein hoher Gehalt an gelben Farbstoffen, Carotinen vorhanden ist. Dagegen geht den Heteroconten der braune Farbstoff der Diatomeen und Chrysomonaden ab, sie besitzen dafür Chlorophyll. Phylogenetisch bedeutungsvoll ist aber die Konstatierung, „daß unter den Chrysomonaden vereinzelt ganz grüne, sonst aber vollkommen identische Individuen unter sonst braunen auftreten, wie es auch Arten gibt, die den

braunen Farbstoff dauernd verloren zu haben scheinen". Alle diese Tatsachen deuten darauf hin, daß die drei Reihen der Chrysophyten auf eine einheitliche Wurzel zurückgehen; die Diatomeen sind, wie die Conjugaten, in einer Sackgasse geendigt, die Chrysomonaden haben Flagellatentypus angenommen und bloß die Heteroconten sind zu einer weiteren algenartigen Ausbildung gelangt.

Die Samen der Bromeliaceen in ihrer Anpassung an den Epiphytismus. Mit den Beziehungen zwischen dem Samenbau der Bromeliaceen und der epiphytischen Lebensweise dieser Gewächse beschäftigt sich eine Arbeit von *Szidat* (Arch. f. Bot. *I*, 1922). Wie dies für die meisten Epiphyten bezeichnend ist, erfolgt auch hier die Samenverbreitung durch Vögel oder durch den Wind. Zu der ersten Kategorie gehört die Unterfamilie der Bromelieae; die Frucht ist hier als Beere ausgebildet, die Samen von 1—5 mm Länge birgt; die äußere Samenschale verschleimt und dient zum Ankleben an den Ästen, die innere ist stark verdickt und schützt das Innere bei der Passage durch den Vogeldarm gegen Verdauung. Auffällig ist das rasche Auftreten der Wurzelhaare beim Auskeimen der Samen; offenbar soll dadurch ein möglichst rasches Anklammern an die Rinde erzielt werden. Die Unterfamilie der Tillandsieae weist Samen mit Flugvorrichtungen auf, die in sehr merkwürdiger Weise zustandekommen. Das Integument, das ursprünglich ganz normal den Samen umhüllt, spaltet in schmale Längsstreifen auf, die sich bis zur Basis des Samens loslösen und so einen Haarkranz bilden, der an den Pappus der Compositen erinnert. Diese Flughaare stellen also entwicklungsgeschichtlich keine eigentlichen Haare dar. An ihrem freien Ende besitzen sie ein paar krallenförmige Anhänge, die der Festhaftung dienen, wenn der Samen vom Wind auf einen Ast getrieben wird. Auch die feuchtgewordenen Haare selbst wirken nach dieser Richtung. Bei der Gattung Tillandsia ist das eine Ende des Samens in einen „Saugstumpf" ausgezogen, der kapillar Wasser aufnimmt, das als Reservoir dient. Bei der Gattung Catopsis ist am Vorderende des Samens ebenfalls ein Pappuskranz vorhanden, der sich aber diesmal wirklich von Haaren herleitet; wir haben es also mit einer interessanten Konvergenzerscheinung zu tun, die dadurch noch mehr an Auffälligkeit gewinnt, daß auch die Catopsishaare mit Haken versehen sind. Neben diesem Spitzenschopf ist bei Catopsis am entgegengesetzten Ende noch ein Basalschopf vorhanden, der aus verkorkten wasserundurchlässigen Haaren besteht; diese legen sich schützend um jene Region, in der sich der Embryo befindet. Auch in der dritten Unterfamilie, den Pitcairnieae, treten Samen mit Flugapparaten auf, die aber lange nicht so kompliziert gebaut sind, entsprechend der Tatsache, daß es sich bei dieser Gruppe meist um typische Erdbewohner handelt. Es ist dies offenbar der ursprünglichere Zustand. Nach den Angaben von *Ule*, die indes nicht nachkontrolliert werden konnten, tritt bei den Bromeliaceen (Nidularium) noch ein dritter Verbreitungstypus auf: die Samen werden durch Ameisen verschleppt. Es gilt dies von allen jenen Formen, die gewohnheitsgemäß die „hängenden Gärten" der Ameisen bewohnen.

Kritik der Blackmannschen Theorie der begrenzenden Faktoren bei der Kohlensäureassimilation. *Blackmann* hat versucht, das bekannte von *Liebig* formulierte Gesetz des Minimums, nach dem für die Ernährung der Pflanzen nur der im Minimum befindliche Nährstoff für die Produktion maßgebend ist, auf die Assimilation auszudehnen. Das würde also besagen, daß die Assimilationsgeschwindigkeit bestimmt wird durch den in geringster Menge anwesenden Faktor. Wird dieser Faktor in größerer Menge geboten, dann steigt die Geschwindigkeit geradlinig an bis zu einem neuen Gleichgewichtszustand, der dadurch bestimmt ist, daß nunmehr ein anderer Faktor ins Minimum gerät. Diese weitere Vergrößerung des ersten Faktors hat keine Wirkung mehr, weil nunmehr der zweite bedingend ist. Infolgedessen muß die Assimilationskurve einen scharfen Knick aufweisen, wofür auch die Blackmannschen Versuche zu sprechen scheinen. Damit stimmen aber eine Reihe neuerer Erfahrungen nicht überein. Deshalb hat *Harder* (Jahrb. f. wiss. Bot. *60*, 1922) die Frage erneut aufgegriffen. Er gelangte dabei in Versuchen, die sich auf Moose (Fontinalis, Cinclidotus) und Algen (Cladophora) erstreckten, zu einer Ablehnung der Blackmannschen Theorie: Zunächst zeigte es sich, daß die Assimilation nicht den von *Blackmann* postulierten Verlauf zeigt (geradliniger Anstieg und dann paralleler Verlauf zur horizontalen Achse des Koordinatensystems), vielmehr findet er erst steilen und dann immer flacher werdenden Anstieg mit sanftem Übergang zur Horizontalen; es herrscht also annähernd logarithmischer Verlauf. Indes ist die Kurve nicht mit der für die Landwirtschaft so wichtigen Kurve von *Mitscherlich* identisch, bei der der Geschwindigkeitszuwachs proportional ist dem jeweils am höchsten Werte fehlenden Betrag. Weiterhin fand dann *Harder* im Gegensatz zu *Blackmann*, daß bei jedem Verhältnis von Lichtintensität und Kohlensäurekonzentration — das sind die beiden untersuchten Faktoren — die Assimilationsgeschwindigkeit durch Steigerung eines der beiden Faktoren erhöht werden kann, daß also nie einer sich so sehr im Minimum befindet, daß ein Anwachsen des andern wirkungslos bleibt. Jedoch zeigten die Harderschen Versuchsdaten, daß der Wirkungsgrad der einzelnen Faktoren nicht bei allen Konzentrationsverhältnissen gleich ist, sondern daß derjenige einen bedeutenderen Einfluß hat, der sich im Minimum befindet. „Bei starken Lichtintensitäten und schwachen Kohlensäurekonzentrationen wirkt daher eine Erhöhung der Konzentration der letzteren stärker und umgekehrt." Daraus folgt, daß man für die Assimilationskurve zwei Bezirke unterscheiden kann, einen, bei dem die Kohlensäurekonzentration und einen, bei dem die Lichtstärke für den Erfolg maßgebender ist. Dazwischen liegt ein Bereich, wo sie sich einander das Gleichgewicht halten und wo die Auswertung am ökonomischsten ist: „Das Produkt aus der Konzentration der Lichtenergie und der Kohlensäure, das zur Erzielung der im Augenblick erreichten Assimilationsgeschwindigkeit erforderlich ist, ist hier niedriger als bei irgendeiner anderen Kombination der Faktoren." Insgesamt betrachtet ergibt sich also aus all diesen Daten, daß das Minimumgesetz hier nicht gilt. *Harder* führt dies darauf zurück, daß es sich hier nicht um zwei Nährstoffe handelt, wofür ja das Gesetz von *Liebig* formuliert war, sondern um einen Nährstoff und einen Energiefaktor. *Stark.*

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW